



ISSN 1607–2855

Том 10 • № 1 • 2014 С. 66 – 69

УДК 523.3:529

Долгопериодичность в реальном лунно-солнечном цикле

В.В. Михальчук

Астрономическая обсерватория Одесского национального университета,
Одесская национальная морская академия

Установлен долгопериодический лунно-солнечный цикл, состоящий из целого числа 19-летних циклов. Получена вековая поправка, позволяющая повысить точность вычисления возраста Луны, и универсальная формула для вычисления лунного числа в различных видах лунно-солнечных циклов.

ДОВГОПЕРІОДИЧНІСТЬ У РЕАЛЬНОМУ МІСЯЧНО-СОНЯЧНОМУ ЦИКЛІ, Михальчук В.В. — Встановлено довгоперіодичний місячно-сонячний цикл, що складається з цілого числа 19-річних циклів. Отримана вікова поправка, що дозволяє підвищити точність обчислення віку Місяця, і універсальна формула для обчислення місячного числа в різних видах місячно-сонячних циклів.

THE LONG-PERIOD OF THE REAL MOON-SOLAR CYCLE, by Mikhalychuk V.V. — The long-period moon-solar cycle consisting of an integer of 19-years cycles are established. The secular correction is obtained, permitting to increase the exactitude of a calculation of age of Moon, and the universal formula for a calculation of lunar number in various aspects of moon-solar cycles.

Ключевые слова: фазы Луны; метонов цикл.

Key words: phases of the Moon; Meton cycle.

1. ВВЕДЕНИЕ

Лунно-солнечный цикл продолжительностью 19 лет (метонов цикл) устанавливает взаимосвязь между возрастом Луны и датой календарного года [1–6]. Возраст Луны определяется как интервал времени, выраженный в сутках и их долях, прошедший с момента ближайшего новолуния [2, 3], и изменяется от 0 до 29,5. Метонов цикл применяется для приближенного вычисления возраста Луны на любую дату солнечного календаря (с максимально возможной точностью до 0,5 суток). Для точного вычисления возраста Луны необходимо знать момент ближайшего новолуния из астрономических эфемерид.

В работе [3] была введена дополнительная поправка за месяц для приближенного вычисления возраста Луны и получена формула, позволяющая аналитически вычислять лунное число в первом приближении для простого метонового цикла, которая не смогла обеспечить требуемую точность вычисления лунного числа за пределами текущего 19-летнего цикла. В работе [4] была получена формула во втором приближении для усредненного 19-летнего метонового цикла, позволяющая более точно вычислить лунное число на большом интервале времени (порядка столетия). Однако на очень большом интервале времени (порядка нескольких тысячелетий) эта формула не позволяет получить требуемую точность при вычислении лунного числа, поскольку реальный лунно-солнечный цикл, кроме 19-летнего периода, имеет еще более продолжительные периоды. Поэтому необходимо провести анализ периодов лунно-солнечного цикла с целью получения точного решения на очень большом интервале времени.

2. 19-ЛЕТНИЙ МЕТОНОВ ЦИКЛ

Для вычисления возраста Луны продолжительность T тропического года принимаем такой, как она была на начало 2000 года: $T = 365,242190$ суток. За продолжительность синодического месяца примем его среднее значение $S = 29,530589$ суток. В основе 19-летнего лунно-солнечного цикла лежит приближенное соотношение, открытое Метонем в V веке до н.э.: $235S \approx 19T$.

Согласно определению, возраст Луны B всегда находится в интервале $0 \leq B < S$ и выражен целым числом, принимающим значения от 0 до 30. При достижении значения $B = 30$ возраст Луны полагается равным нулю ($B = 0$).

Календарная дата характеризуется годом Y , номером месяца M в году и номером дня D в месяце. Возраст Луны с точностью $\pm 0,5$ суток можно вычислить по формуле, полученной в работе [3]:

$$B = L + M + K + D, \quad (1)$$

где L — лунное число постоянное для всего года, K — дополнительная поправка за месяц к возрасту Луны. Лунное число L лежит в пределах от 0 до 30 и увеличивается каждый год на 11. При достижении значения $L = 30$ лунное число должно обращаться в нуль ($L = 0$). Дополнительная поправка K принимает

следующие значения: $K = 2$ для января и февраля, $K = 1$ для сентября и ноября, $K = 0$ для остальных месяцев.

В работе [4] получена аналитическая формула для вычисления лунного числа в 19-летнем метоновом цикле:

$$L = 30 \left\{ \frac{(11 + \mu)(Y - Y_0)}{30} \right\}, \quad (2)$$

где фигурные скобки означают дробную часть заключенного внутри них выражения; μ — вековая поправка для лунного числа, $Y_0 = 1998$ — первый год основного метонова цикла. В формуле (2) применяется сплошная нумерация годов при одном значении года Y_0 .

Таким образом, с помощью формулы (2) можно вычислить лунное число для любого года и, подставив его в формулу (1), найти возраст Луны.

Первым приближением метонова цикла является простой метонов цикл, вторым приближением — усредненный метонов цикл.

Лунное число L , выражаемое формулой (2), является периодической функцией с периодом

$$P = \frac{30}{11 + \mu}, \quad (3)$$

и принимает целочисленные значения от 0 до 29. На протяжении всего 19-летнего цикла число периодов P изменения лунного числа составляет

$$N = \frac{19}{P}. \quad (4)$$

Для простого метонова цикла $\mu = 0$, период $P = 2,7272727$ года, $N = 6,9667$, т.е. приближенно можно считать, что $N = 7$.

Период усредненного метонова цикла составляет в точности 19 лет, поэтому на нем может укладываться только целое число N периодов изменения лунного числа. Таким образом, усредненный метонов цикл является замкнутым с периодическим изменением лунного числа, что обеспечивается обязательным выполнением условий

$$\begin{cases} L(Y_0 + 19) = L(Y_0) + \Delta L, \\ L(Y_0 + 19) = L(Y_0) + 30N, \end{cases} \quad (5)$$

где ΔL — полное приращение лунного числа в цикле. Условия (5) должны выполняться при целом значении числа $N = 7$. Из выражений (5) легко получить следующее соотношение

$$\Delta L = 30N. \quad (6)$$

Для простого метонового цикла $\Delta L = 209$ суток, для усредненного метонового цикла $\Delta L = 210$ суток. Это означает, что за 19 лет возраст Луны в усредненном метоновом цикле будет на 1 сутки больше, а даты фаз Луны смещаются на 1 сутки раньше, чем в простом метоновом цикле.

Зная период P изменения лунного числа в усредненном метоновом цикле, можно, пользуясь формулой (3), найти вековую поправку для лунного числа

$$\mu = \frac{30}{P} - 11. \quad (7)$$

В работе [4] был найден период изменения лунного числа в усредненном метоновом цикле, равный $P = \frac{19}{7} = 2,7142857$ года, а по нему вычислена вековая поправка для лунного числа, равная $\mu = \frac{1}{19} = 0,0526316$.

3. РЕАЛЬНЫЙ (ТРОПИЧЕСКИЙ) ЛУННО-СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ

Усредненный метонов цикл не позволяет вычислить с требуемой точностью лунные числа на очень больших интервалах времени, порядка нескольких тысячелетий. Это связано с предположением о том, что усредненный метонов цикл имеет период, в точности равный 19 годам. В реальности это предположение неточно, т.е. $19T - 235S = -0,086805$ суток. В более точном приближении интервал времени в годах, за который разность $19T - 235S$ накапливается до величины 1 сутки, можно найти из следующего выражения: $\frac{19}{19T - 235S} = -218,8814$, т.е. считать приближенно равным 219 годам. Отрицательное значение продолжительности этого интервала времени означает, что относительно момента весеннего равноденствия каждые 219 лет реальные фазы Луны наступают на 1 сутки позже, а реальный возраст Луны будет на 1 сутки меньше, чем в усредненном метоновом цикле. Отсюда следует, что реальный (тропический) лунно-солнечный цикл является долгопериодическим, т.е. его период во много раз превышает 19-летний период метонова цикла.

Подобно тому, как в усредненном метоновом цикле содержится целое число N периодов изменения лунного числа, так и в реальном (тропическом) лунно-солнечном цикле должно содержаться целое число 19-летних циклов. Через $2 \times 218,8814 = 437,7628$ лет лунное число уменьшается на 2. Поскольку

Таблица 1. Лунные числа для первых 20 лет нынешнего реального (тропического) лунно-солнечного цикла

Y	$Y - Y_0$	L^*	L	Y	$Y - Y_0$	L^*	L
1998	0	0,000	0	2008	10	20,481	20
1999	1	11,048	11	2009	11	1,529	2
2000	2	22,096	22	2010	12	12,577	13
2001	3	3,144	3	2011	13	23,625	24
2002	4	14,192	14	2012	14	4,673	5
2003	5	25,240	25	2013	15	15,721	16
2004	6	6,288	6	2014	16	26,769	27
2005	7	17,336	17	2015	17	7,817	8
2006	8	28,384	28	2016	18	18,865	19
2007	9	9,432	9	2017	19	29,913	0

Таблица 2. Примеры вычисления лунного числа и возраста Луны

№	Календарная дата	D	M	K	Y	$Y - Y_0$	Вычисленные		Истинные	
							L	B	L	B
1	15 февраля 1961	15	2	2	1961	-37	11/11	0/0	11	0
2	19 июня 1936	19	6	0	1936	-62	5/5	0/0	5	0
3	22 января 1898	22	1	2	1898	-100	5/5	0/0	5	0
4	17 мая 1882	17	5	0	1882	-116	8/8	0/0	8	0
5	5 сентября 1793	5	9	1	1793	-205	14/15	29/0	15	0
6	23 сентября 1699	23	9	1	1699	-299	25/27	28/0	26	0
7	31 июля 1590	31	7	0	1590	-408	21/22	29/0	22	0

Таблица 3. Сравнительные характеристики различных видов лунно-солнечного цикла

Вид лунно-солнечного цикла	Период в годах	Число 19-летних циклов	Годы основного цикла	μ
Простой метонов цикл	19	1	1998–2016	0
Усредненный метонов цикл	19	1	1998–2016	0,0526316
Реальный (тропический) цикл	437	23	1998–2434	0,0480549

$\frac{437,7628}{19} = 23,04$ метоновых цикла, то, округлив до ближайшего целого, получим 23 метоновых цикла, составляющие период реального лунно-солнечного цикла, равный $23 \times 19 = 437$ лет. За этот период полное приращение лунного числа будет составлять $\Delta L = 23 \times 210 = 4830$ в усредненном метоновом цикле и $\Delta L = 4830 - 2 = 4828$ в реальном лунно-солнечном цикле. Пользуясь формулой (6), найдем число периодов изменения лунного числа в 19-летнем цикле $N = \frac{\Delta L}{30 \cdot 23} = \frac{4828}{690} = 6,99710$, не являющееся целым, поскольку период реального лунно-солнечного цикла равен 437 лет, а не 19. Из формулы (4) получим период изменения лунного числа: $P = \frac{19}{6,99710} = 2,7154101$ года. И, наконец, по формуле (7) вычислим значение $\mu = \frac{21}{437} = 0,0480549$. Найденное значение вековой поправки для лунного числа определяет реальный (тропический) лунно-солнечный цикл, являющийся третьим приближением метонова цикла. Его началом является значение года $Y_0 = 1998$, а окончанием будет $Y = 1998 + 437 - 1 = 2434$ год. Выберем этот цикл в качестве основного цикла. Используя формулу (2), составим таблицу лунных чисел для первых 20 лет нынешнего реального (тропического) лунно-солнечного цикла (табл.1).

В табл.1 приведены значения L^* лунных чисел, непосредственно вычисленные по формуле (2), и их окончательные значения L , округленные до ближайшего целого. При вычислении лунного числа для 2017 года округлялось до ближайшего целого не значение L^* , а разность $L^* - 30$, равная $-0,087$ суток. Таблица с истинными значениями лунных чисел для тех же самых 20 лет, вычисленных по астрономическим эфемеридам [7], приведена в работе [5]. Теперь при помощи формулы (2), округлив ее результат до ближайшего целого, можно вычислить лунное число с точностью $\pm 0,5$ суток на очень большом интервале времени (несколько тысячелетий). Однако практическое применение формулы (2) для реального (тропического) лунно-солнечного цикла возможно лишь с 1582 года, когда был введен григорианский календарь.

Сравнение вычисленных значений лунного числа и возраста Луны для усредненного и реального (тропического) лунно-солнечных циклов, приведенных в табл. 2 (усредненный цикл / реальный цикл), с их истинными значениями, найденными из астрономических эфемерид [7], показывает, что реальный (тропический) лунно-солнечный цикл дает более точный результат на интервалах времени $Y - Y_0$ приблизительно от двух столетий и более (примеры 5–7).

Формула (2) для вычисления лунного числа является единой и универсальной по отношению ко всем рассмотренным видам лунно-солнечных циклов. Переход от одного цикла к другому в этой формуле

осуществляется путем изменения вековой поправки μ для лунного числа (табл. 3).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в данной работе:

1. Установлен долгопериодический лунно-солнечный цикл, состоящий из целого числа 19-летних метоновых циклов, — реальный (тропический) лунно-солнечный цикл.
2. Вычислена вековая поправка к лунному числу для реального (тропического) лунно-солнечного цикла.
3. Показана возможность вычисления лунного числа во всех рассмотренных видах лунно-солнечных циклов по единой универсальной формуле. Выбор цикла в этой формуле осуществляется изменением значения вековой поправки к лунному числу.
4. Реальный (тропический) лунно-солнечный цикл позволяет просто и быстро вычислить возраст Луны с точностью $\pm 0,5$ суток на очень большом интервале времени (порядка нескольких тысячелетий).

1. *Климишин И.А.* Календарь и хронология. — М.: Наука, 1990. — 480 с.
2. *Куликовский П.Г.* Справочник любителя астрономии / под ред. В.Г. Сурдина. — М.: УРСС, 2002. — 688 с.
3. *Михальчук В.В.* Уточнение возраста Луны в лунно-солнечном цикле // Вісник Астрономічної школи. — 2009. — **6**, № 1. — С.69–72.
4. *Михальчук В.В.* Различные виды лунно-солнечного цикла и их применение для вычисления возраста Луны // Вісник Астрономічної школи. — 2012. — **8**, № 1. — С.104–107.
5. *Михальчук В.В.* Повышение точности возраста Луны и методы определения лунного числа в мореходной астрономии // Судовождение. — 2013. — **23**. — С.81–92.
6. *Селешников С.И.* История календаря и хронология. — М.: Наука, 1977. — 224 с.
7. *Mikhalchuk V.V.* Elaboration of the batch of the programs for celestial mechanics for the computation of the astronomical ephemeris // Odessa Astron. Publ. — 2001. — **14**. — P.261–264.

Поступила в редакцию 28.07.2014